第24講　光の干渉2

1

図1のように，2枚の同じガラス板を上下に重ね，端の点Oから距離lだけ離れた点Qに厚さtのアルミはくをはさんで，点Oで2枚のガラス板が接触したまま上のガラス板が下のガラス板に対して角θの傾きを持つようにしてある。いま，真上から波長λの単色光を当てて上側から見ると，上のガラス板の下面での反射光と下のガラス板の上面での反射光が干渉して，明暗のしま模様が見えた。空気およびガラスの絶対屈折率をそれぞれ1.0および1.5として次の問に答えよ。ただし，点Oと点Qの距離lは，アルミはくの厚さtとくらべて十分に大きいとする。

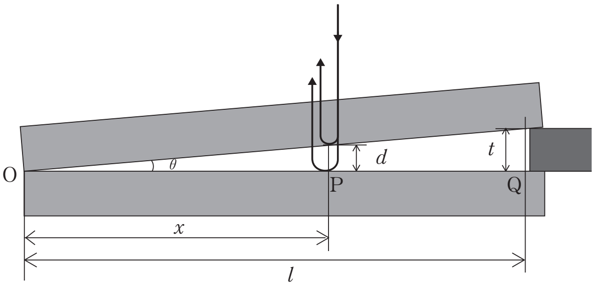


図1

問1　点Oからx離れた点Pで明線が見られた。点Pにおけるガラス板の間隔dと波長λの関係を求めよ。また，xと波長λの関係を求めよ。必要ならば整数m（$m = 0, 1, 2, \cdots$）を用いてもよい。

問2　明線の間隔Dを，λ，l，tを用いて表せ。

問3　問2の結果を用い，$\lambda = 5.9\times10^{-7}$m，$l = 1.0\times10^{-1}$m，$D = 2.0\times10^{-3}$mとしてアルミはくの厚さ$t$[m]を求めよ。

問4　問3で求めた厚さのアルミはくをはさんだ状態で，ガラス板の間を絶対屈折率1.3の透明な液体で満たした。このとき明線の間隔D'[m]を求めよ。

問5　ガラス板の間を絶対屈折率1.3の透明な液体で満たしたまま，図2のように，透過光の干渉を下側から観察したところ，点Oからx'離れた点P′で明線が見られた。点P′におけるガラス板の間隔d'と波長λの関係を求めよ。また，x'をλ，l，tを用いて表せ。必要ならば整数m（$m = 0, 1, 2, \cdots$）を用いてもよい。

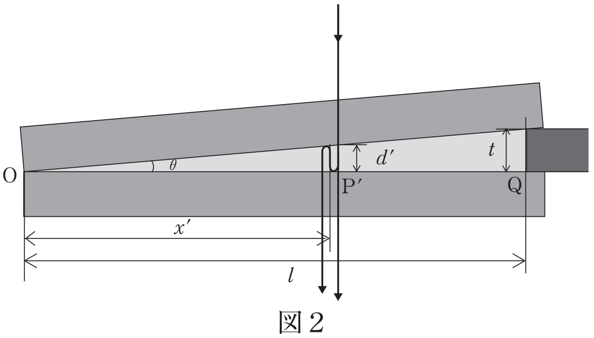


図2

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

＜ Note ＞

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

2

次の文の空所［イ］～［ト］にあてはまる数式または語句を，それぞれ対応するａ～ｆから１つずつ選び，その記号を所定欄にマークせよ。

(1)　片方が平面でもう片方が球面のレンズを平凸レンズと呼ぶ。図１のように，この球面を下向きにして平面ガラスの上に載せ，球面と平面ガラスの間に薄い空気層をつくる。空気の屈折率は１で，球面と平面ガラスとの接触点をＯとする。波長λの平行光線を平面ガラスに垂直に上から入射させると，レンズの下面で反射した光と平面ガラスの上面で反射した光が干渉する。ここで平面ガラス上面での反射点をＰとする。球面と平面ガラスとの間の空気の層は非常に薄いので，入射光と反射光は平行とみなすことができ，光の経路差Lと光が通過する空気層の厚さdの関係は［イ］となる。平凸レンズの球面の半径をR，ＯからＰまでの距離をrとすると，$r^2 =$［ロ］となる。ここで，d^2の値は非常に小さいとして無視すると，結局，$L =$［ハ］となる。薄い空気層からＰに向かう光が境界面で反射するとき，光の位相がずれるが，これは［ニ］の経路差に相当する。したがって，両反射光線が強め合って明るくなる条件は，mを整数として，［ホ］$= m\lambda$（m =1，2，3，……）となり，$r^2 =$［ヘ］（m =1，2，3，……）と求めることができる。この条件に適合するＯを中心とする半径rの円周上の点は全て同等であるから，図２のような，Ｏを中心とした環状の干渉縞が見られる。mが大きくなるにつれて環の半径は増加し，隣り合う環の間隔は［ト］。

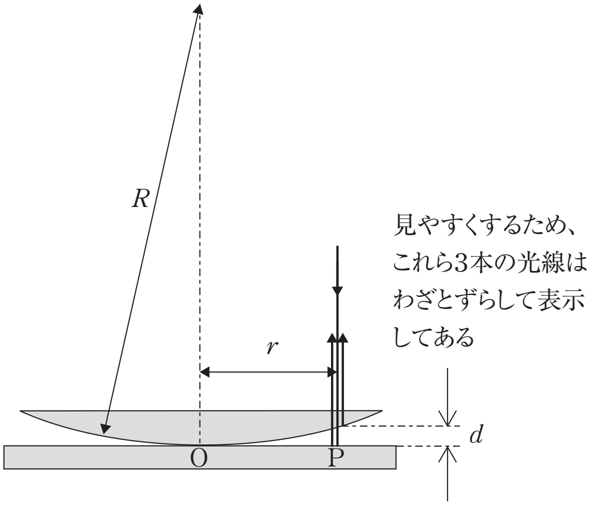


図１

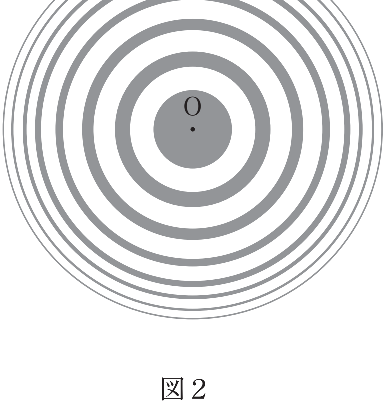


図２

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

イ

a．$\frac{1}{L}=\frac{d}{2}$　b．$\frac{1}{L}=d$　c．$\frac{1}{L}=2d$　d．$L=\frac{d}{2}$

e．$L=d$　f．$L=2d$

ロ

a．$(R-d)d$　b．$(R+d)d$　c．$(2R-d)d$　d．$(2R+d)d$

e．$(R-2d)d$　f．$(R+2d)d$

ハ

a．$\frac{R^2}{r}$　b．$\frac{r^2}{R}$　c．$\frac{R(r+R)}{r}$　d．$\frac{r(r+R)}{R}$

e．$\frac{(r+R)^2}{r}$　f．$\frac{(r+R)^2}{R}$

ニ

a．3λ　b．2λ　c．λ　d．$\frac{\lambda}{2}$

e．$\frac{\lambda}{3}$　f．$\frac{\lambda}{4}$

ホ

a．$\frac{r^2}{R}+\frac{\lambda}{2}$　b．$\frac{R(r+R)}{r}+\lambda$　c．$\frac{(r+R)^2}{R}+\frac{\lambda}{3}$　d．$\frac{(r+R)^2}{r}+2\lambda$

e．$\frac{r(r+R)}{R}+3\lambda$　f．$\frac{R^2}{r}+\frac{\lambda}{4}$

ヘ

a．$\frac{2m+1}{3}\lambda R$　b．$\frac{2m-1}{3}\lambda R$　c．$\frac{2m+1}{2}\lambda R$　d．$\frac{2m-1}{2}\lambda R$

e．$\frac{3m+1}{3}\lambda R$　f．$\frac{3m-1}{3}\lambda R$

ト

a．少しずつ大きくなる

b．少しずつ小さくなる

c．変わらない

d．大きくなったり小さくなったりする

e．少しずつ大きくなるが，あるところから変わらなくなる

f．少しずつ小さくなるが，あるところから変わらなくなる

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

3

以下の問の答を記入せよ。

図1に示すように，屈折率 n_1（$n_1>1$），厚み D の透明な樹脂の一方の面に平坦な金属の板を接着し，金属をつけていない方の面に，屈折率 n_2 の半円柱状のガラスを密着させた。このときレーザー光線をガラス表面に垂直に，O点を通るように入射させる。ガラスと樹脂の境界面に角度 i で入射したレーザー光線は，角度 r で屈折した後，光線は金属面で反射し，樹脂と空気の境界面上のP点から角度 θ で出ていった。空気の屈折率を1として，以下の問に答えよ。

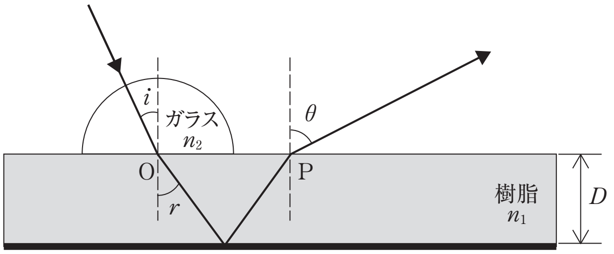


図1

問1　屈折率 n_2 を，n_1，i，r を用いて表せ。

レーザー光線がO点を通過するようにしたまま，角度 i を大きくしていくと，ちょうど $i=i_C$ のとき，P点で全反射が起こった。また，このときOPの長さは L だった。

問2　屈折率 n_2 を，i_C を用いて表せ。

問3　屈折率 n_1 を，L と D を用いて表せ。

問4　ガラスの材質を変えて屈折率 n_2 が変化しても，角度 i を調節することにより，P点で全反射が起こるようにしたい。これが可能であるための必要十分条件を，次の(イ)〜(ホ)の中から一つ選べ。

(イ)　$n_2>n_1$　　(ロ)　$n_2<n_1$　　(ハ)　$n_2=n_1$

(ニ)　$n_2>1$　　(ホ)　$n_2=1$

次に，図1の半円柱状のガラスと金属板を取り除き，図2に示すように，新たに，細かい溝が一定の間隔 d で並んでいる金属板を接着し，レーザー光線を入射した。ただし，レーザー光線は，溝の間隔 d よりも十分大きな幅で平行に入射するものとする。入射したレーザー光線は，溝によっていろいろな方向に散乱されるが，ある特定の方向の光は干渉して強めあう。これは，溝のついた金属板が回折格子と類似のはたらきをすることを示す。以下では，角度 i で入射し，散乱されて角度 θ で出ていく光について考察する。空気中でのレーザー光線の波長を λ として，以下の問に答えよ。

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

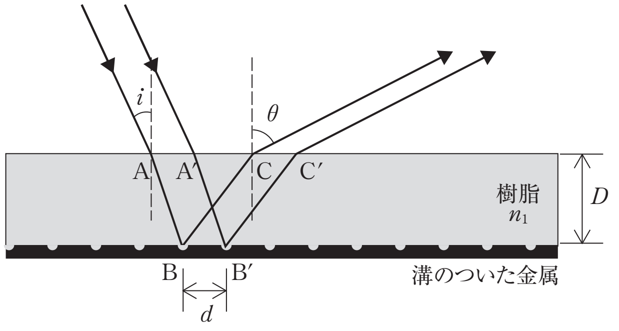


図２

問５　角度iでＡ点に入射し，Ｂ点で散乱された後，角度θでＣ点から出ていく光と，角度iでA′点に入射し，B′点で散乱された後，角度θでC′点から出ていく光の光路差の絶対値を求めよ。ただし，Ａ点とA′点，Ｂ点とB′点，Ｃ点とC′点は，それぞれ距離dだけ離れている。

問６　任意の整数Nを用いて，問５の光が強めあう条件を式で表せ。

回折の様子を調べるために，樹脂の上面から100mm上方に半透明の紙を樹脂面と平行に固定し，レーザー光線を入射角30°で入射したところ，干渉によって強めあった光が，図３の①〜⑤に示す輝点となって紙面上で観測された。レーザー光線の中心が金属に当たる位置の真上を原点として，図３に示すようにx軸をとった。③の輝点の座標を測定したところ，10mmであった。ただし，樹脂の厚みDは100mmよりも十分小さいものとする。

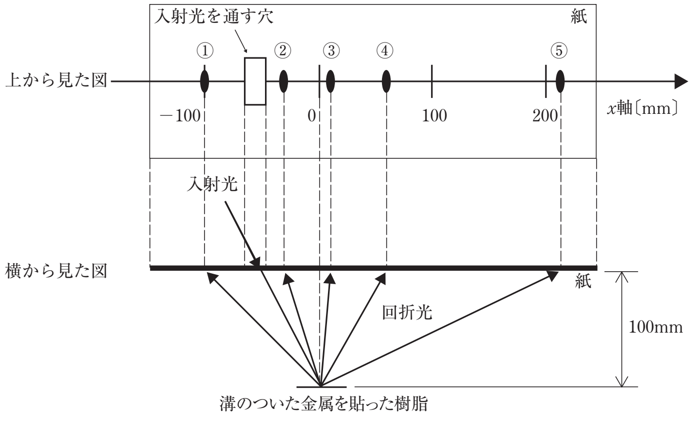


図３

問７　０次の回折光（問５において光路差が０）に相当する輝点はどれか。①〜⑤の番号で答えよ。

問８　用いたレーザー光線の波長は$\lambda = 6.4\times10^{-7}$［m］であった。間隔$d$を有効数字２桁で求めよ。

問９　光線の入射方向を保ったまま，波長λをわずかに増加させると輝点のいくつかは移動した。x軸の正の方向，および負の方向に移動した輝点の番号を，それぞれ全てあげよ。

©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

< Note >

ⒸRECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第24講　確認テスト

次の文中の 1 から 5 に最も適するものをそれぞれの解答群から一つ選び，所定の欄にその記号をマークせよ。

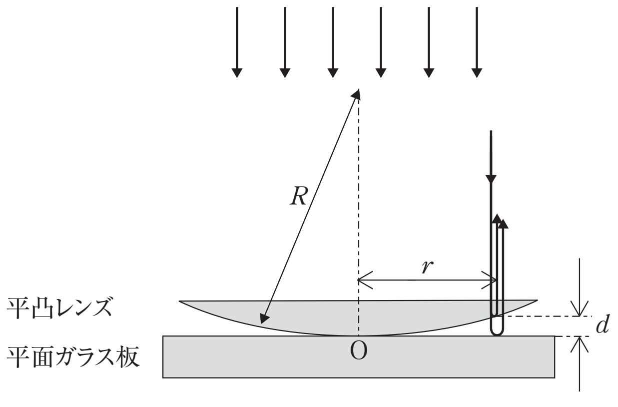
図のように，半径 R の球面の一部と平面からできているガラス製の平凸レンズの凸面を平面ガラス板の上におく。レンズの平面とガラス板は平行である。この平面に垂直に，レンズの上方から真空中の波長が λ の平行光線を入射し，上から観察する。レンズとガラス板の間の空気層の厚さが薄いとき，レンズとガラス板の接点Oを中心とする同心円状の明るいリング（輪）と暗いリングが交互にあらわれる。これは，図のようにレンズの下面で反射した光とガラス板の上面で反射した光が干渉することによって起こる。このしま模様はニュートンリングといわれる。半径が r のリングのところでの空気層の厚さ d は，$r \ll R$ のとき，近似的に $d \fallingdotseq \dfrac{r^2}{2R}$ と表すことができる。

レンズの下面で光が反射する場合のように，光が屈折率の大きい媒質から屈折率の小さい媒質へ向かうところで起こる反射では，光の位相は変わらない。一方，ガラス板の上面で光が反射する場合のように，屈折率が小さい媒質から屈折率が大きい媒質へ向かうところで起こる反射では，光の位相は π，つまり半波長分だけずれる。レンズとガラス板が接触している経路差が0とみなせる中心部分では，二つの反射光が互いに弱めあい暗く見える。一方，中心から外側へ $m=1$，2，3，…と数えて m 番目の明るいリングのところでは，二つの光の経路差 $2d$ は 1 に等しい。ただし，空気の屈折率を1とする。以上により，m 番目の明るいリングの半径 r_m は， 2 と求まる。この結果から，隣り合う明るいリングの間隔は 3 。上から赤い光を入射した場合と青い光を入射した場合について比較すると，m 番目の明るいリングの半径は 4 。

次に，レンズとガラス板のすきまに水を満たし，真空中の波長 λ の単色光を上から入射する。水の屈折率 n は，空気より大きく，ガラス（レンズや平面ガラス板）より小さい。この場合，m 番目の明るいリングの半径 $r_m{}'$ は，水を満たす前の半径 r_m を使うと，

$$r_m{}' = \boxed{\ 5\ }\ r_m$$

と表すことができる。



©RECRUIT HOLDINGS

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

1 の解答群

(A) $m\lambda$　(B) $\dfrac{m}{2}\lambda$　(C) $\dfrac{m}{4}\lambda$　(D) $\left(m-\dfrac{1}{2}\right)\lambda$

(E) $\left(m-\dfrac{1}{4}\right)\lambda$　(F) $(m-1)\dfrac{\lambda}{2}$　(G) $(m-1)\dfrac{\lambda}{4}$

2 の解答群

(A) $\sqrt{\dfrac{mR}{\lambda}}$　(B) $\sqrt{\left(m-\dfrac{1}{4}\right)\dfrac{R}{\lambda}}$　(C) $\sqrt{\left(m-\dfrac{1}{2}\right)\dfrac{R}{\lambda}}$　(D) $\sqrt{mR\lambda}$

(E) $\sqrt{\left(m-\dfrac{1}{4}\right)R\lambda}$　(F) $\sqrt{\left(m-\dfrac{1}{2}\right)R\lambda}$　(G) $\sqrt{\dfrac{m\lambda}{R}}$　(H) $\sqrt{\left(m-\dfrac{1}{4}\right)\dfrac{\lambda}{R}}$

(I) $\sqrt{\left(m-\dfrac{1}{2}\right)\dfrac{\lambda}{R}}$

3 の解答群

(A) 外側へいくほど広くなる　(B) 外側へいくほど狭くなる

(C) 中心からの距離によらず一定である

4 の解答群

(A) 赤い光の方が大きくなる　(B) 青い光の方が大きくなる

(C) かわらない

5 の解答群

(A) n^2　(B) n　(C) $\sqrt{n}$　(D) 1

(E) $\dfrac{1}{\sqrt{n}}$　(F) $\dfrac{1}{n}$　(G) $\dfrac{1}{n^2}$

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 24 講　解答

1

問１　d と λ の関係　$2d=\left(m+\frac{1}{2}\right)\lambda$　$(m=0,\ 1,\ 2,\ \cdots)$,

x と λ の関係　$2x\frac{t}{l}=\left(m+\frac{1}{2}\right)\lambda$　$(m=0,\ 1,\ 2,\ \cdots)$

問２　$D=\frac{\lambda l}{2t}$

問３　$t=1.5\times10^{-5}$ [m]

問４　$D'=1.5\times10^{-3}$ [m]

問５　d' と λ の関係　$2d'=\frac{\lambda}{1.3}m$　$(m=0,\ 1,\ 2,\ \cdots)$

$x'=\frac{l\lambda}{2.6t}m$　$(m=0,\ 1,\ 2,\ \cdots)$

2

イ　f　　ロ　c　　ハ　b　　ニ　d

ホ　a　　ヘ　d　　ト　b

3

問１　$n_2=n_1\frac{\sin r}{\sin i}$

問２　$n_2=\frac{1}{\sin i_C}$

問３　$n_1=\sqrt{\frac{4D^2}{L^2}+1}$

問４　(ニ)

問５　$d|\sin i-\sin\theta|$

問６　$d|\sin i-\sin\theta|=N\lambda$

問７　④

問８　$d=1.6\times10^{-6}$ [m]

問９　正の方向：⑤，負の方向：①，②，③

©RECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。

第 24 講　確認テスト

【解答】

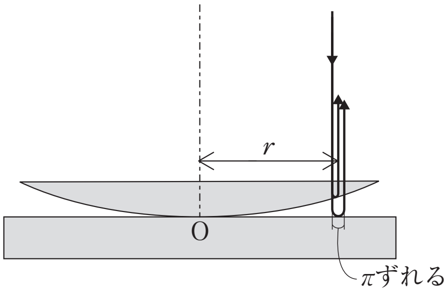
1　(D)　　2　(F)　　3　(B)　　4　(A)　　5　(E)

【解説】

1　反射による位相のずれも考慮して，

明線条件は

$$2d = m\lambda - \frac{\lambda}{2}$$
$$= \boldsymbol{\left(m - \frac{1}{2}\right)\lambda} _1$$



2　上の条件に，$d = \dfrac{r_m{}^2}{2R}$ を代入して，

$$\frac{r_m{}^2}{R} = \left(m - \frac{1}{2}\right)\lambda$$

m 番目の明環の半径 r_m は

$$r_m = \boldsymbol{\sqrt{\left(m - \frac{1}{2}\right)\lambda R}} _2$$

3　**外側へいくほど狭くなる。**＿3

4　r_m は $\sqrt{\lambda}$ に比例するので，波長の長い**赤い光の方が大きくなる。**＿4

5　水を入れても反射による位相のずれは変わらない。水中では波長が $\dfrac{\lambda}{n}$ となるので

明線条件は

$$\frac{r_m'^2}{R} = \left(m - \frac{1}{2}\right)\frac{\lambda}{n}$$

$$\therefore \quad r_m' = \sqrt{\left(m - \frac{1}{2}\right)\frac{\lambda R}{n}} = \boldsymbol{\frac{1}{\sqrt{n}}}r_m _5$$

ⒸRECRUIT HOLDINGS
本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は著作権者に帰属します。
また本サービスに掲載の全部または一部につき無断複製・転載を禁止します。